

Análise sinótica da intensa precipitação observada no litoral do Ceará em 7 de abril de 2016

Maytê Duarte Leal Coutinho

Funceme

Meiry Sayuri Sakamoto

Funceme

p. 858-871

revista

Geo 
USP
espaço e tempo

Volume 21 • nº 3 (2017)

ISSN 2179-0892

Como citar este artigo:

COUTINHO, M. D. L.; SAKAMOTO, M. S. Análise sinótica da intensa precipitação observada no litoral do Ceará em 7 de abril de 2016. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 21, n. 3, p. 858-871, dez. 2017. ISSN 2179-0892.

Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/116263>>. doi: 10.11606/issn.2179-0892.geosp.2017.116263.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Análise sinótica da intensa precipitação observada no litoral do Ceará em 7 de abril de 2016

Resumo

As chuvas intensas que aconteceram na cidade de São Gonçalo do Amarante-CE no dia 7 de abril de 2016 provocaram grandes transtornos à sociedade. Este estudo faz uma análise sinótica da intensa precipitação ocasionada por dois sistemas meteorológicos e, ainda, examina a convergência e os fluxos de umidade integrados verticalmente associados à precipitação, uma vez que os modelos atmosféricos dificilmente conseguem localizar corretamente no tempo e no espaço áreas de intensa precipitação.

Palavras-chave: Modelos atmosféricos. Convergência. Fluxos de umidade. Chuvas intensas. Sistemas meteorológicos.

Synoptic Analysis of Intense Precipitation Observed Coastline of Ceará on April 07, 2016

Abstract

The heavy rains that have occurred in the city of São Gonçalo do Amarante-CE on 7 April 2016 caused great upsets to society. This study is a synoptic analysis of heavy precipitation caused by two weather systems and also examines the convergence and integrated moisture flows vertically associated rainfall, since atmospheric models can hardly locate correctly in time and space areas of intense precipitation.

Keywords: Atmospheric models. Convergence. Moisture flows. Heavy rains. Meteorological systems.

Introdução

Os principais sistemas sinóticos atuantes na faixa litorânea cearense são de maneira geral, os mesmos que atuam no estado como um todo. O sistema meteorológico que domina a quadra chuvosa é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no período de fevereiro e maio (Moura; Shukla, 1981; Wang, 2002). Após a quadra chuva, prevalece principalmente a atuação dos distúrbios ondulatórios de leste (DOL) entre junho e agosto (Mota, 1997; Coutinho; Fish, 2007). Enquanto no sul do estado normalmente sofre influência de sistemas frontais que geralmente chegam enfraquecidas, mas mesmo assim modificam o tempo local, cujo efeito principal está ligado à precipitação (Kousky, 1979). É importante ressaltar, que um dos principais sistemas meteorológicos que provocam alterações no tempo do Nordeste do Brasil (NEB) é o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) e ou cavado de altos níveis (CAN), que atua nas estações de primavera, verão e outono, com máxima frequência no mês de janeiro (Gan; Kousky, 1986; Coutinho; Gan; Rao, 2010).

No início da manhã do dia 7 de abril de 2016, a cidade de São Gonçalo do Amarante-CE sofreu grandes prejuízos devido a intensa precipitação e fortes ventos associados a aproximação da ZCIT e do CAN. Os jornais noticiaram muitos problemas à população, entre eles, cita-se (O povo, [s.d.]): houveram oito pontos de alagamentos da sede do município de São Gonçalo e 29 casas e pontos comerciais foram invadidas pela chuva, em distritos e na sede, segundo a Defesa Civil do município. O evento responsável pela chuva deste dia foi provocado pela combinação de dois sistemas meteorológicos: o primeiro, a ZCIT, principal sistema indutor de chuvas no estado do CE no período de fevereiro a maio, que se aproximou do setor norte do NEB e provocou chuvas intensas, principalmente no noroeste do estado. O segundo sistema, foi o CAN sistema de baixa pressão, típico da pré-estação chuvosa, cuja atuação no NEB, contribuiu na intensificação das chuvas no noroeste do Ceará, que segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), neste dia, choveu em 104 municípios do total de 184 municípios e com maior registro de chuva em São Gonçalo do Amarante de 252 mm.

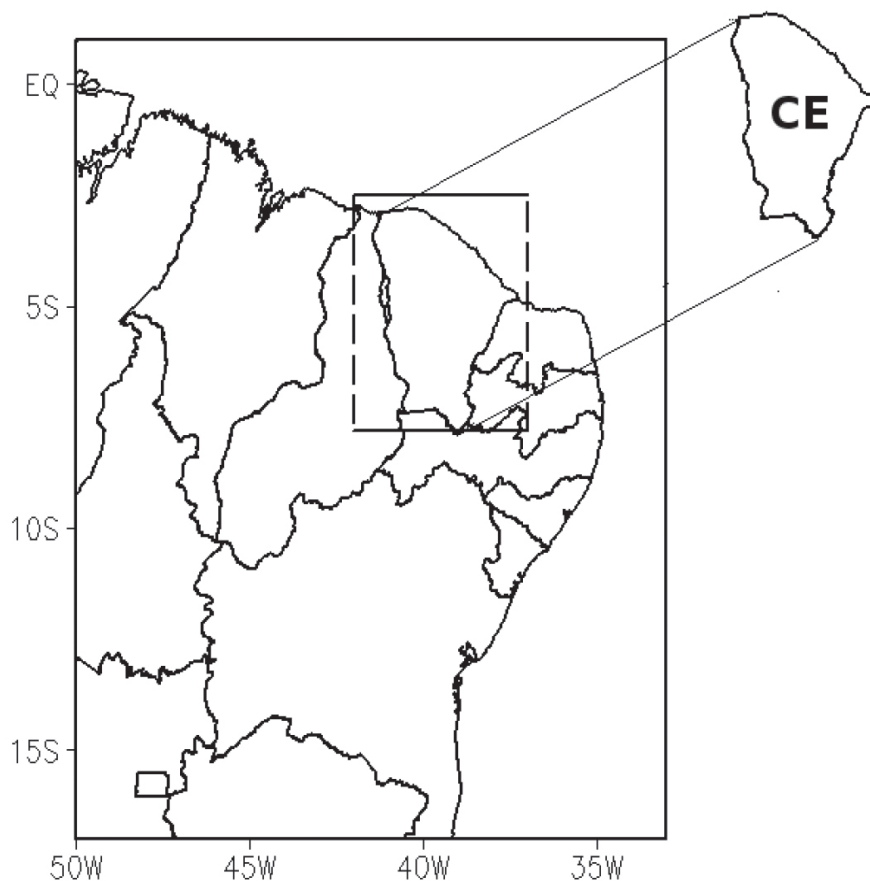
Os modelos atmosféricos dificilmente conseguem localizar corretamente no tempo e no espaço áreas de intensa precipitação. Isto porque quando se analisa uma convecção em mesoescala, a intensa precipitação é gerada por células convectivas de pequena escala horizontal que muitas vezes desencadeadas por características topográficas não é representado pelos mapas de relevo utilizados, cuja resolução não consegue definir apropriadamente vales e montanhas (Dal Piva, 2007). Sendo assim, uma variável de extrema importância no estudo de intensa precipitação é o fluxo de umidade. Conhecer o quanto de umidade entrou e/ou saiu na área selecionada é importante para o entendimento de quanto essa convergência está associada à precipitação.

O objetivo desta pesquisa é realizar uma análise sinótica do evento meteorológico ocorrido no dia 7 de abril de 2016 identificando suas características e também, áreas de fortes fluxos e convergência de umidade associada a precipitação. A seção 2 trata dos dados e metodologia empregados, a seção 3 apresenta os resultados e a discussão. Na seção 4 apresentam-se as conclusões.

Dados e metodologia

Região de estudo

Figura 1 – Localização do estado do Ceará na região Nordeste do Brasil



fonte: As autoras (2018).

Dados

Imagens de satélite

As imagens do satélite GOES (Silva; Boechat, 1999; Teixeira, 2016) foram utilizadas no canal infravermelho realçado para melhor analisar a temperatura do topo das nuvens e estimar o teor do vapor d'água sobre o estado. Neste estudo, utilizamos as imagens apenas como ilustração.

Imagens do radar meteorológico

O radar meteorológico (Atlas; Ulbrich, 1990) é um instrumento que tem a função de detecção de precipitação através do envio de pulsos de ondas eletromagnéticas. Utilizaram-se como ilustração as imagens do Radar Meteorológico localizado no estado do Ceará. Essas imagens são disponibilizadas em horário local por meio do *site* da Funceme. Foram selecionadas algumas imagens do dia 7 de abril de 2016, e a partir delas, juntamente com as imagens de satélite, analisou-se a dinâmica local para o dia em questão.

Precipitação

A utilização dos produtos de estimativa de precipitação proveniente do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) vem sendo amplamente utilizada para avaliar resultados de modelos numéricos, tais como Rozante e Cavalcanti (2008), Valverde Ramírez (2003). Os dados do Merge consistem na interpolação dos dados do satélite TRMM com os dados de observação de superfície (Surface Synoptic Observations – SYNOP) sobre o continente da América do Sul (Rozante; Moreira; Gonçalves, 2010) e resolução de 0.5° de longitude \times 0.5° de latitude. Estes dados foram utilizados no intuito de avaliar a precipitação do CE e comparar com o observado da Funceme.

Modelo Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)

Escolheu-se utilizar dados de previsão feita pelo RAMS por este ser executado na Funceme duas vezes ao dia. Com o objetivo de simular o comportamento dos fluxos e da convergência de umidade associados a intensa precipitação no dia 7 de abril de 2016. O RAMS é um modelo prognóstico desenvolvido na Universidade do Estado do Colorado (Pielke et al., 1999). Geralmente, modelos regionais podem simular qualquer situação de escoamento (da microescala até a escala sinótica) e é utilizado por muitos pesquisadores em diferentes aplicações. Para tanto, as seguintes variáveis meteorológicas foram utilizadas para o cálculo do fluxo de umidade integrado verticalmente: umidade específica, ventos meridional e zonal para os níveis normais de pressão (1.000, 925, 850, 700, 500, 400 e 300 hPa) com espaçamento da grade horizontal de 0.25° de latitude \times 0.25° de longitude, executado duas vezes ao dia na Funceme: 00 e 12 UTC.

Metodologia

Transporte de vapor d'água

A área retangular selecionada na Figura 1 foi considerada para estudar o transporte de vapor d'água para dentro e fora da área. Valores do fluxo de umidade integrados verticalmente ao longo das fronteiras foram calculados desde a superfície até 300 hPa. A convergência média do fluxo de umidade sobre cada área foi obtida pela adição quando o transporte é para o interior da área e subtração quando é para fora (Tabela 1). A integração vertical do fluxo de umidade foi realizada utilizando a metodologia de Rao, Chapa e Cavalcanti (1998), uma vez que essa formulação tem sido utilizada com sucesso em vários estudos (Lima; Satyamurty; Fernández, 2010; Satyamurty; Costa; Manzi, 2013; Coutinho; Lima; Santos e Silva, 2013; Coutinho; Lima; Santos e Silva, 2015). Sendo dado pelas seguintes equações:

$$Q_v = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_0} qvdp \quad (1)$$

$$Q_u = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_0} qudp \quad (2)$$

Em que Q_v e Q_u representam o fluxo de umidade meridional e zonal, g é aceleração devido à gravidade, q é a umidade específica, u e v são as componentes do vento meridional e zonal e P_t representa a pressão na parte superior do domínio de integração (300 hPa) e P_0 é a pressão à superfície (hPa). A unidade desses fluxos é em kg/s.

Por outro lado, os fluxos de umidade ao longo das fronteiras leste, oeste, norte e sul foram calculados da seguinte maneira:

$$Q_{EW} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} Q_i dy \quad (3)$$

$$Q_{NS} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_i dx \quad (4)$$

Ou seja, a integração foi realizada fixando-se a latitude ou longitude entre os limites das fronteiras de cada área, conforme os índices definidos anteriormente nas equações, que são:

O índice *EW* da equação (3) define a longitude para fixar as fronteiras leste ou oeste, e a integração é feita na direção y , φ_1 é o valor da latitude na borda sul e φ_2 é o valor da latitude na borda norte;

O índice *NS* da equação (4) define a latitude para fixar as fronteiras norte ou sul, neste caso, a integração é feita na direção x , λ_1 é o valor da longitude na borda oeste e λ_2 é o valor da longitude na borda leste.

O índice i em ambas as equações define o fluxo de umidade meridional, zonal ou total já integrado verticalmente.

A Tabela 1 indica a convenção de sinais utilizados na convergência do fluxo de umidade. Nota-se que o transporte de umidade dentro da região é positivo quando o seu valor é negativo sobre os limites do norte e leste. Caso contrário, é positivo nas fronteiras oeste e sul (Satya-murty; Costa; Manzi, 2013).

Tabela 1 – Balanço de sinais para o cálculo da convergência de umidade

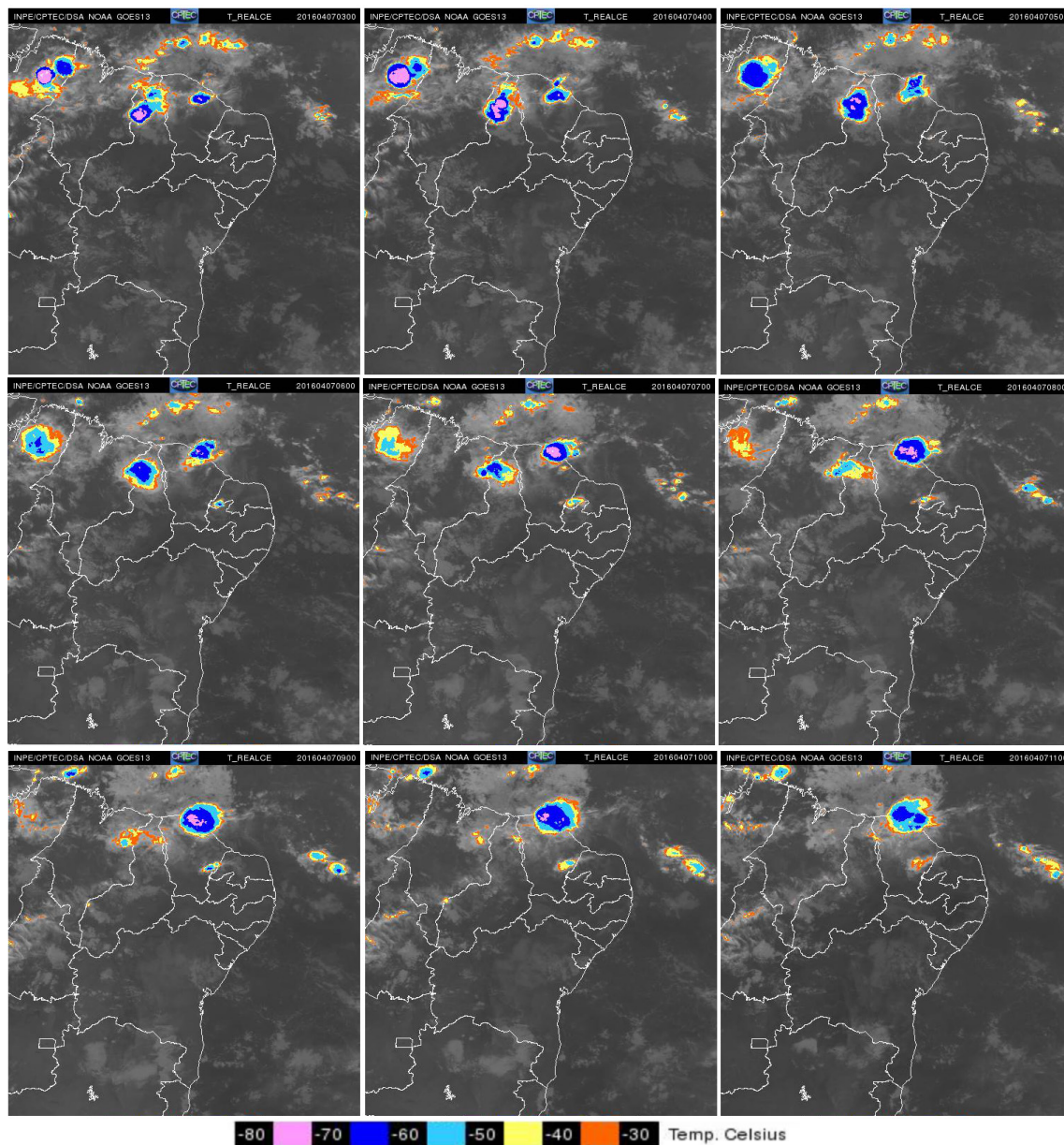
norte e leste	sul e oeste
(+) saídas ou perda de fluxo; subtrair	(+) entrada ou ganho de fluxo; somar
(-) entrada ou ganho de fluxo; somar	(-) saídas ou perda de fluxo; subtrair

Resultados e discussão

Imagens de satélite e radar

A Figura 2 mostra uma sequência de imagens de satélite realçadas no canal infravermelho da formação de sistemas convectivos no litoral do Ceará e sua intensificação no decorrer da manhã do dia 7 de abril de 2016.

Figura 2 – Imagens de satélite realçadas no espectro infravermelho em 7 de abril de 2016 às 03Z, 04Z, 05Z, 06Z, 07Z, 08Z, 09Z, 10Z e 11Z



fonte: CPTEC/INPE (2016).

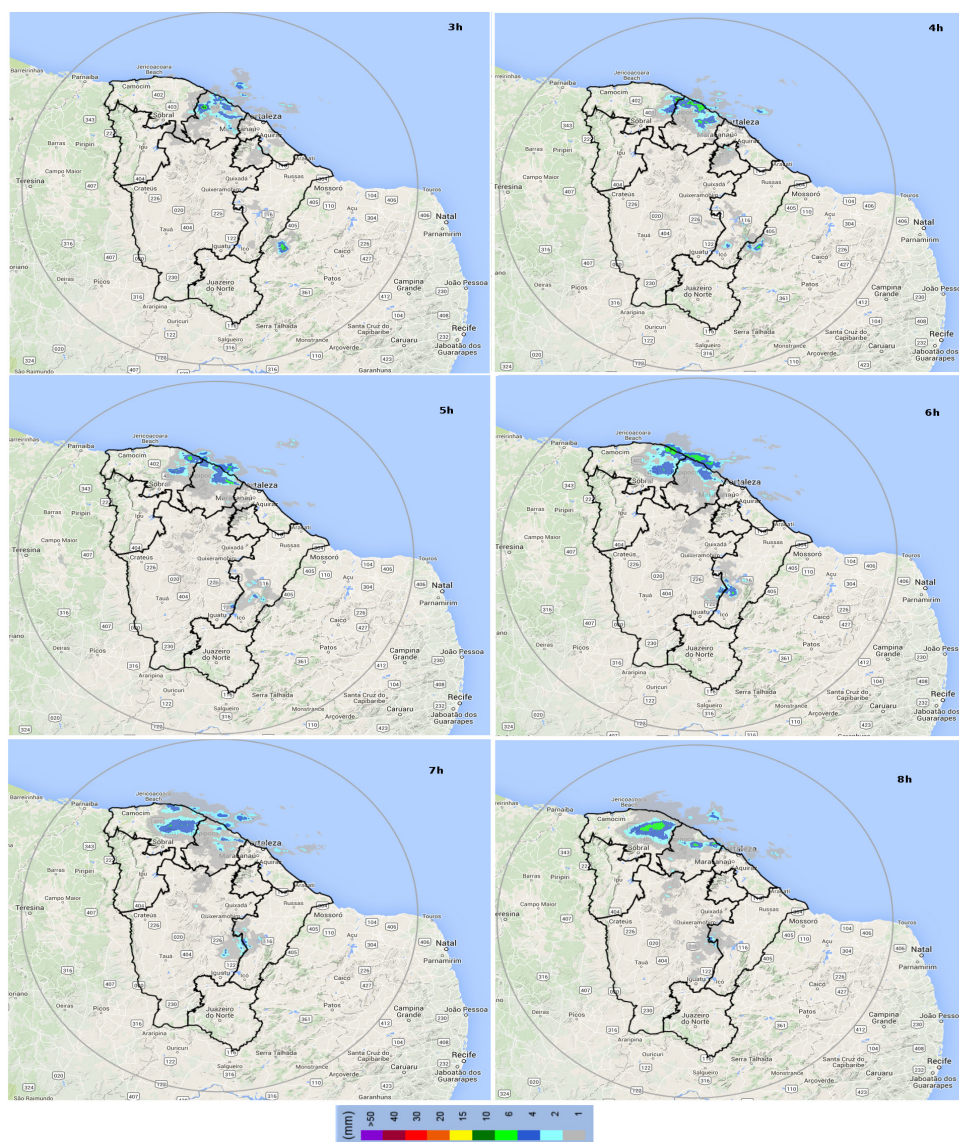
Aglomerados no oceano Atlântico são observados próximo à costa do Ceará, que se deslocaram em direção ao continente, devido a confluência dos alísios de norte no litoral do Ceará juntamente com a aproximação da ZCIT. A aproximação indica que a ZCIT se moveu no período de análise e, portanto, contribuiu para a formação de nuvens e chuva intensa. As áreas de instabilidades intensificaram à medida que atingiram a costa. Isso pode estar associado a diferença de temperatura entre o oceano e continente (Ferreira; Mello, 2005).

Entre às 06Z e 9Z (Figura 2), verificam-se que as áreas de instabilidades se mantêm sobre a costa do estado do Ceará, variando de intensidade, e estas apresentaram temperatura do topo de nuvens entre -80 °C a -70 °C. Na Figura 3, têm-se as imagens de Radar que permitem fácil visualização da intensidade da precipitação através das cores apresentadas.

Verifica-se um núcleo de precipitação intensa na faixa litorânea do estado do CE, deixando claro que as chuvas ocorridas durante esse evento foram extremamente concentradas sobre esta região. Nas outras regiões ocorreram chuvas, mas não de forma tão intensa como no litoral. A comparação da intensidade da precipitação pode ser feita visualizando as escalas de cores no canto inferior das imagens. Uma intensificação da precipitação na faixa litorânea é observada principalmente de 6h às 7h local.

A nebulosidade somada à anomalia na temperatura da superfície do mar, provocou um acréscimo grande de umidade na faixa litorânea do estado do CE, juntamente com a aproximação da ZCIT e de um CAN, responsáveis pela formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical (Kousky; Gan, 1981; Mendonça; Danni-Oliveira, 2007). Esses fatores provocaram precipitações muito intensas no dia em estudo, atingindo cerca de 252 mm de precipitação na cidade de São Gonçalo do Amarante.

Figura 3 – Evolução do sistema visto a partir das imagens de radar em 7 de abril de 2016, nos horários de 3h, 4h, 5h, 6h, 7h e 8h. A escala de cores indica intensidades crescentes de precipitação do lilás para o grafite

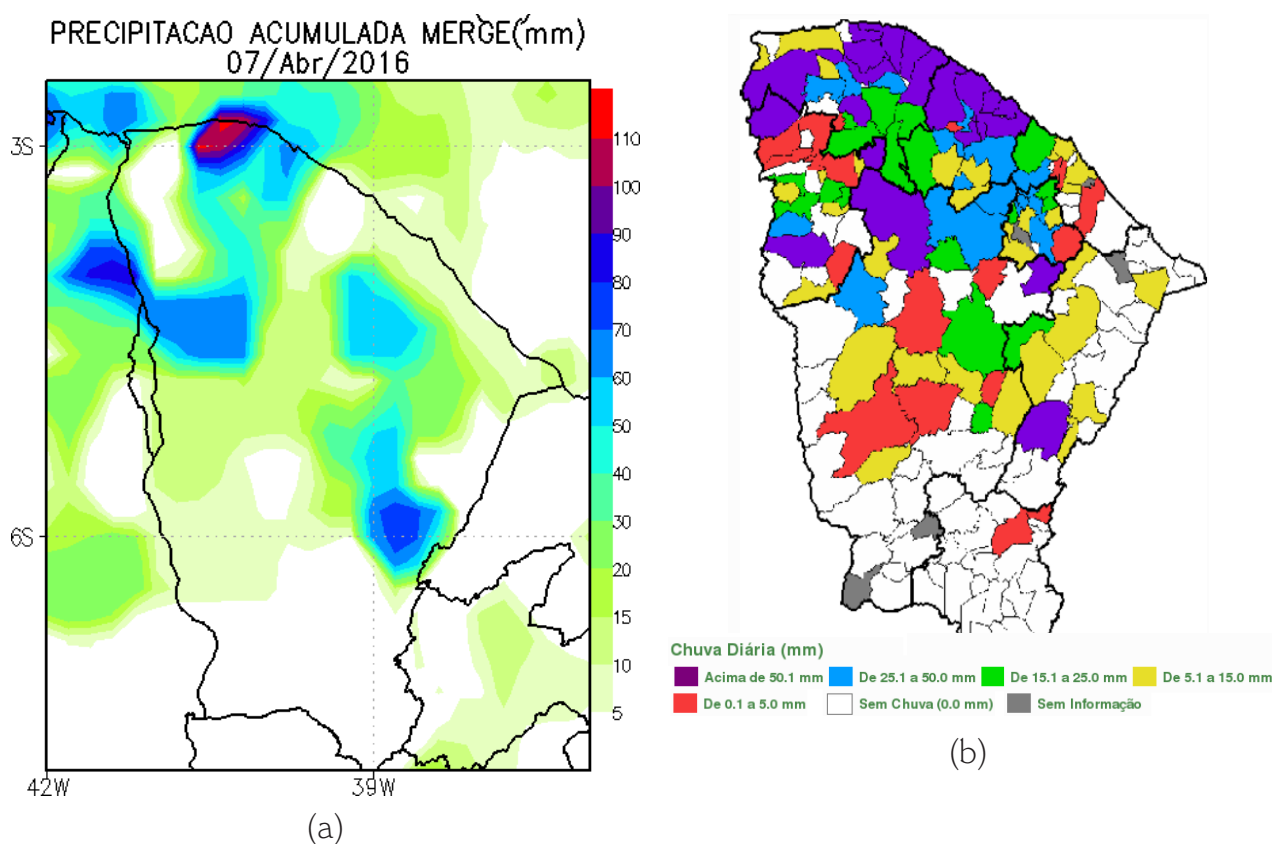


fonte: Funceme (2016).

Precipitação

A Figura 4 mostra o campo da distribuição espacial da precipitação acumulada no dia 7 de abril de 2016 do produto Merge (Figura 4a) e observado pela Funceme na Figura 4b. Semelhanças entre os dois campos são observadas. No produto Merge, é possível notar a presença de núcleo intenso de precipitação no litoral do Ceará, que coincide com o máximo acumulado observado pela Funceme. Esse acumulado é em torno de 110 mm pelo produto Merge, enquanto a Funceme registrou valores acima de 200 mm.

Figura 4 – Distribuição espacial da precipitação acumulada pelo Merge (a) e observada pela Funceme (b) em 7 de abril de 2016.



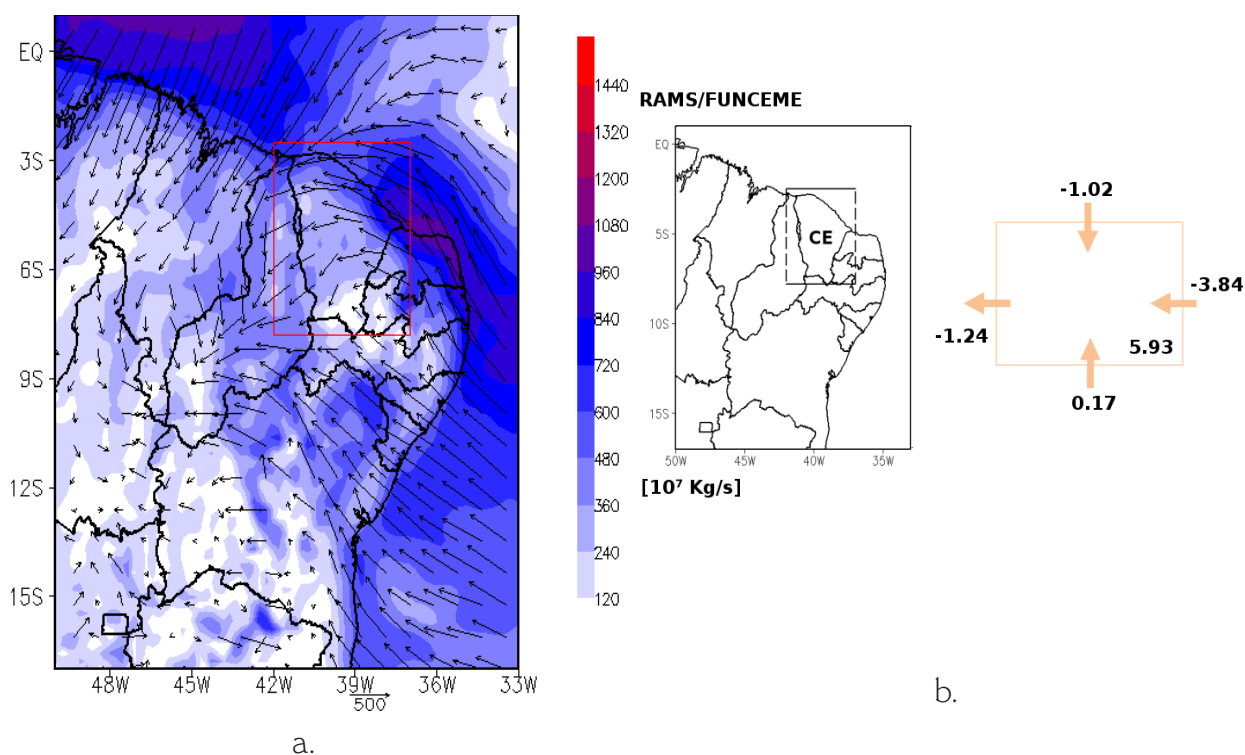
fonte: Funceme (2016).

Vale ressaltar, que o produto Merge representa bem os acumulados mostrados pela Funceme (Figura 4b). E por mais que subestime a precipitação, o Merge se mostra eficiente, pois é capaz de identificar áreas com núcleos de precipitação mostrados nas imagens de satélite (Figura 2). Outro ponto a ressaltar, é o fato de que em nuvens convectivas, a intensa precipitação é observada em uma área relativamente pequena, sendo o restante da área coberta por precipitação mais fraca (Dal Piva, 2007). Segundo o boletim da Funceme, os maiores registros de precipitação concentraram-se na faixa litorânea, sendo os três maiores em: São Gonçalo do Amarante que registrou o maior volume de precipitação de 252 mm, Paraipaba com 233 mm e Trairi com 217 mm.

Fluxos de umidade integrados verticalmente

A Figura 5 mostra a convergência e os fluxos laterais de umidade integrados verticalmente entre (1000-300 hPa) simulado pelo RAMS/Funceme. É interessante notar na Figura 5a, que os ventos provenientes do oceano Atlântico Norte e Sul, foram importantes em transportar umidade para o estado do CE (Coutinho; Lima; Santos e Silva, 2013; Coutinho; Lima; Santos e Silva, 2015). Na borda leste da área selecionada, observa-se um núcleo intenso de convergência de umidade, com ventos de sudeste, levando assim toda a umidade acumulada naquela borda em direção ao setor norte do Ceará (faixa litorânea). Verificam-se ainda ventos de norte-nordeste na costa do Ceará, que concorrem para o desenvolvimento e a manutenção da instabilidade associadas às intensas chuvas, provavelmente devido à aproximação da ZCIT (Figura 5a).

Figura 5 – (a) Fluxo de umidade integrado na vertical (1000-300)hPa e (b) fluxo de umidade nas laterais do retângulo definido por coordenadas geográficas (latitude entre -7.8 e -2.5 e longitude entre -42 e -37). Unidade do fluxo de umidade: 10^7 kg/s



fonte: As autoras (2018).

A Figura 5b mostra a entrada e saída dos fluxos de umidade ao longo das fronteiras leste, oeste, norte e sul na área retangular em destaque. A análise dos fluxos de umidade é interessante, pois sob atuação de sistemas meteorológicos, os modelos têm dificuldades em representar a chuva associada aos sistemas.

Assim, observa-se que maior entrada de umidade é através da borda leste 3.84×10^7 kg/s da Figura 5b, associado à contribuição do oceano Atlântico Sul, responsável em transportar umidade para o continente, como também o intenso núcleo de convergência identificados na Figura 5a contribuem para isso. Na borda norte (Figura 5b), há uma entrada menos intensa de 1.02×10^7 kg/s, que deve estar associada com aproximação da ZCIT e também a contribuição do oceano Atlântico Norte em transportar umidade. Na borda sul (Figura 5a), por ser uma região menos úmida (Figura 5b), provavelmente devido ao posicionamento do CAN, é notável que a entrada de umidade é fraca 0.17×10^7 kg/s para o estado do CE. A única saída de umidade é observada na borda oeste (Figura 5b) com valor de 1.24×10^7 kg/s. Por fim, o valor observado no centro da caixa de 5.93×10^7 kg/s, equivale a convergência de umidade acumulada na área retangular referente ao dia de intensa precipitação (Figura 5b).

Cartas sinóticas

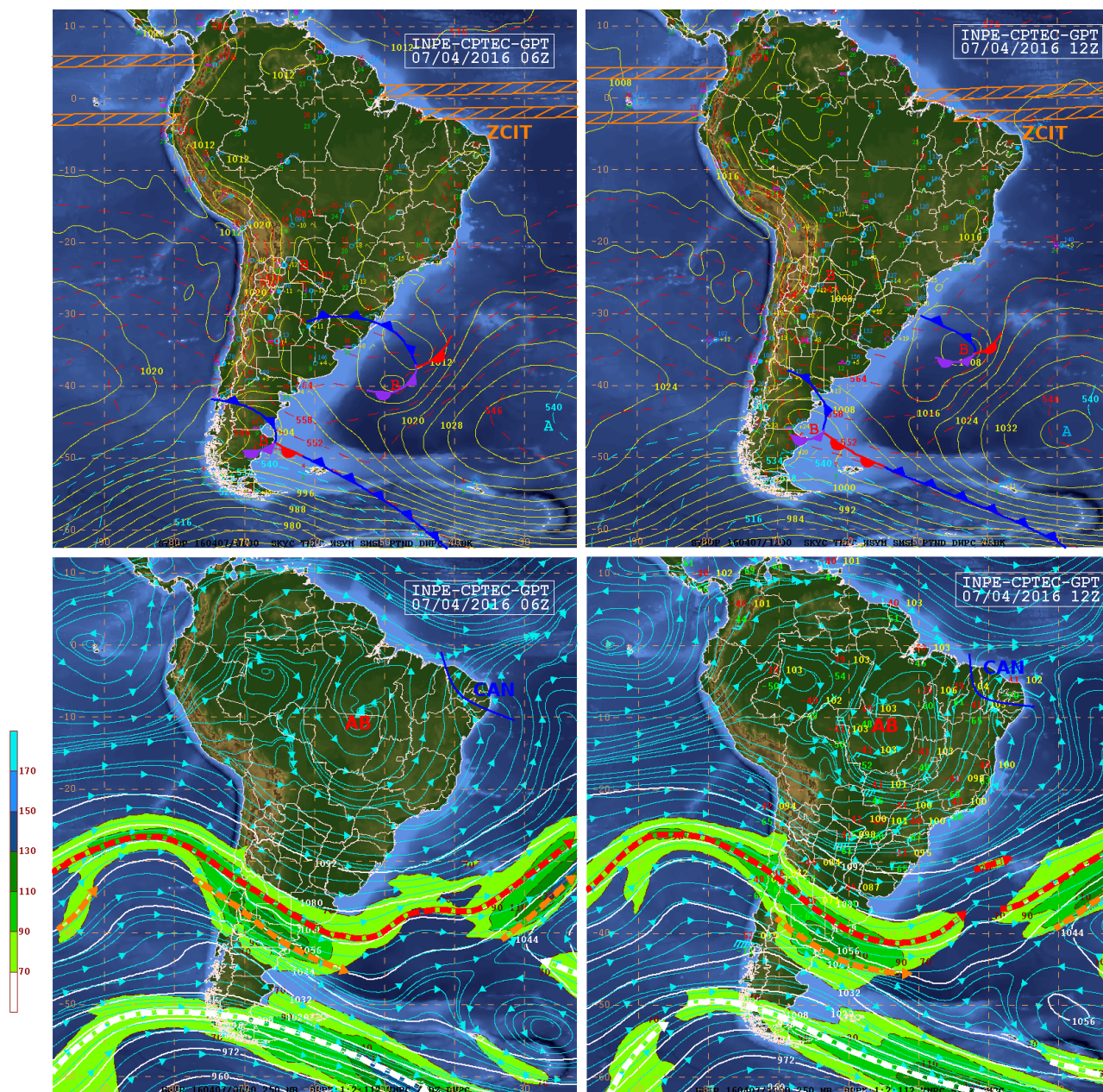
Selecionou-se apenas as cartas sinóticas dos horários de 06Z e 12Z cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC) em superfície e em altitude para identificar as características dos sistemas meteorológicos que provocaram chuvas intensas na manhã do dia 7 de abril de 2016 no estado do CE.

Nos quadros superiores da Figura 6, nota-se as cartas sinóticas das 06Z e 12Z em superfície. Fica claro, que um dos ramos da ZCIT se aproxima da costa do CE. Esse sistema meteorológico é o principal indutor de chuva no estado do CE (Kousky; Gan, 1981), no período da quadra chuvosa, e a aproximação do segundo ramo às 12Z torna-se ainda mais favorável, a ocorrência de chuvas no estado do CE.

Enquanto nos quadros inferiores da Figura 6 têm-se cartas sinóticas de altitude às 06Z e 12Z. É possível observar que sobre o NEB há um CAN, sistema de baixa pressão e circulação ciclônica que atua em aproximadamente 11~12 km. Nota-se ainda que, a oeste da América do Sul, têm-se a presença da Alta da Bolívia (AB) bem definida e sua circulação difluente em altos níveis influenciando diretamente na intensificação do CAN (Ramirez, 1997). No quadro inferior (esquerda) da Figura 6, observa-se que a borda do CAN se posiciona sobre o estado do CE, enquanto às 12Z o CAN tem um leve deslocamento para o leste, está associado à intensificação da AB como mostra o quadro inferior (direita), favorecendo um posicionamento melhor para ocorrência de chuvas, principalmente no litoral norte do estado.

Na Figura 6, observa-se ainda, outras representações que existem na carta sinótica em baixo e altos níveis, como por exemplo: frentes frias, isóbaras, linha de corrente, jato subtropical e jato polar (máximos de vento), mas que não é foco do nosso estudo.

Figura 6 – Cartas sinóticas em 7 de abril de 2016 em superfície (quadros superiores) e altitude (quadros inferiores), ambas nos horários das 06Z e 12Z



fonte: CPTEC/INPE/GPT (2016).

Conclusões

As análises sinóticas sugerem que os sistemas ZCIT e CAN estiveram associados às intensas chuvas ocorridas no litoral do Ceará em 7 de abril de 2016. As imagens de satélite no canal do infravermelho e as de radar meteorológico e as cartas sinóticas concorrem para o monitoramento, em tempo real, da ocorrência de eventos extremos de chuva e constituem ferramentas úteis de suporte à previsão do tempo e de alerta à população em áreas de risco.

O modelo RAMS/Funceme simula para o dia em questão, convergência de umidade em grande parte da troposfera, da superfície 1.000 até 300 hPa, para a áreas delimitada pelas coordenadas (latitude entre -7.8 a -2.5 e longitude entre -42 e -37), indicando condição favorável à formação de células convectivas e à ocorrência de chuva intensa.

Examinar os fluxos de umidade integrados verticalmente foi de grande contribuição neste trabalho, pois quando há atuação de sistemas meteorológicos, os modelos têm dificuldade de representar a chuva associada aos sistemas. É importante ressaltar que o modelo permitiu verificar a convergência de umidade na área de estudo. Dessa forma, é de suma importância esse tipo de análise para que se faça uma previsão mais precisa com antecedência, evitando maiores transtornos à sociedade.

Referências

- ATLAS, D.; ULBRICH, C. W. Early foundations of the measurement of rainfall by radar. In: ATLAS, D. (Org.). **Radar in Meteorology**: Battan Memorial and 40th anniversary radar meteorology conference. Boston: American Meteorological Society, 1990. p. 86-97.
- COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara-MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 193-203, 2007.
- COUTINHO, M. D. L.; GAN, M. A.; RAO, V. B. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região Tropical Sul: validação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 311-323, 2010.
- COUTINHO, M. D. L.; LIMA, K. C.; SANTOS E SILVA, C. M. Regional climate simulations of the changes in the components of the moisture budget over South America. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 1170-1183, 2015.
- _____. Moisture Transport to Weather Present, Past and Future of South America. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 4, p. 945-958, 2013.
- CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Imagens de satélite realçadas no espectro infravermelho no dia 07/04/2016. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 6 nov. 2017.
- DAL PIVA, E. Análise sinótica da intensa precipitação observada no dia 11/09/2002 em Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, v. 29, n. 2, p. 7-26, 2007.
- FERREIRA, A. G.; DA SILVA, N. M. G. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 15-21, 2005.
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.funceme.br/app/radar>. Acesso em: 8 nov. 2017.
- GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v. 1, p. 19-28, 1986.
- KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979.

- _____; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, p. 538-551, 1981.
- LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 101, n. 1-2, p. 121-135, 2010.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA I. M. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MOTA, G. V. **Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Science**, Boston, v. 38, n. 7, p. 2653-2675, 1981.
- RAO, V. B.; CHAPA, S. R.; CAVALCANTI, I. F. A. Moisture budget in the tropics and the Walker circulation. **Journal Geophysical Research**, v. 103, n. D12, p. 13713-13728, 1998.
- O POVO. Disponível em: www.opovo.com.br. Acesso em: 15 jan. 2018.
- PIELKE, R. A. **Mesoscale meteorological modeling**: International Geophysics Series. 2. ed. Waltham, US: Academic Press, 2002. v. 78.
- _____. et al. Evaluation of catastrophe models using a normalized historical record: Why it is needed and how to do it. **Journal of Insurance Regulation**, v. 18, n. 2, p. 177-194, 1999.
- RAMIREZ, M. C. V. Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997.
- ROZANTE, J. R.; CAVALCANTI, I. F. A. Regional Eta model experiments: SALLJEX and MCS development. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 113, n. D17, p. 1-20, 2008.
- ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.; VILA, D. A. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **Weather and Forecasting**, v. 25, p. 885-894, 2010.
- SATYAMURTY, P.; COSTA, C. P. W.; MANZI, A. O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, n. 1-2, p. 195-209, 2013.
- SILVA, A. C., BOECHAT, I. O. O ToolBook no aprendizado auxiliado por computador: identificação de sistemas meteorológicos em imagens GOES-8. Trabalho de Final de Curso (Técnico em Meteorologia) – Colégio Técnico “Antônio Teixeira Fernandes”, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, p. 1999.

- TEIXEIRA, R. F. B. **Satélites meteorológicos:** imagens, aplicações e curiosidades. Fortaleza: Tipografia Íris, 2016.
- UVO, C. B.; BERNDTSSON, R. Regionalization and spatial properties of Ceará State rainfall in Northeast Brazil. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 101, p. 4221-4233, 1996.
- VALVERDE RAMÍREZ, M. C. **Previsão e análise da precipitação sobre o Sudeste do Brasil utilizando redes neurais artificiais.** Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- WANG, C. Atlantic climate variability and its associated atmospheric circulation cells. **Journal of Climate**, v. 15, p. 1516-1536, 2002.